

Nuevos fluidos magnetorreológicos de baja sedimentación

Daniel Garay*, Pilar Bilbao, Maider Iturrondobeitia.

Introducción

Los materiales que pueden variar sus propiedades reológicas con la aplicación de un campo magnético pertenecen a una clase específica de lo que se denominan *smart materials* o materiales inteligentes y que, mediante sistemas electrónicos y modernos algoritmos de control, pueden responder a cambios en su entorno¹.

Los materiales magnetorreológicos más comunes son los que se encuentran en estado líquido. Estos fluidos poseen una capacidad de respuesta, debida a la polarización inducida de las partículas suspendidas en su interior, cuando se aplica un campo magnético externo. La interacción entre los dipolos inducidos resultantes provoca que las partículas formen estructuras columnares con forma de cadena, paralelas al campo aplicado. Dichas estructuras restringen el flujo del fluido incrementando así las características viscosas de la suspensión. La energía mecánica necesaria para romper estas cadenas se va incrementando a medida que el campo es mayor, con lo que un fluido que se comporta en condiciones normales (ausencia de campo) como un fluido Newtoniano, bajo la acción de un campo posee un punto de fluencia dependiente del campo.

El descubrimiento y los desarrollos iniciales de los fluidos magnetorreológicos (en adelante se citarán como FMR) corresponden a Jacob Rabinow^{2,3}. Curiosamente, este descubrimiento coincidió con el trabajo de W. Winslow en fluidos electrorreológicos⁴. Exceptuando la oleada de interés que suscitó este descubrimiento inicial, apenas se publicó durante las décadas posteriores nada acerca de los FMR. Solo recientemente ha resurgido un interés por estos materiales⁵⁻¹⁶.

Son varias las aplicaciones de las que se pueden beneficiar estos fluidos que pueden modificar su reología continuamente y de una forma rápida (la formación de las estructuras y el consecuente aumento de la viscosidad ocurren en tan solo unos milisegundos) y reversible. Entre algunas de ellas se encuentran las válvulas, los embragues y frenos (Rabinow 1948, Choi *et al* 1999, Lee *et al* 1999,

Wang y Gordaninejad 2000, Kelso 2001, Huang *et al* 2002, Ahmadian y Norris 2004) aunque quizás la más investigada y desarrollada sea la amortiguación activa y, en concreto su aplicación en los automóviles.

El problema de la sedimentación

Los FMR se formulan a partir de tres componentes principales:

- Micropartículas de material ferromagnético
- Líquido portador
- Aditivos

Dentro de los primeros, el más utilizado comúnmente suele ser el hierro por su relación entre sus propiedades ferromagnéticas y su precio y disponibilidad.

El líquido portador se escoge normalmente en base a sus propiedades reológicas y tribológicas y por su estabilidad frente a la temperatura. Sin embargo, también es necesario tener en cuenta la aplicación a la que va a ir destinada a la hora de elegir uno u otro. Los más utilizados son los aceites provenientes del petróleo, aceites de silicona, aceites sintéticos hidrocarbonatos e incluso agua.

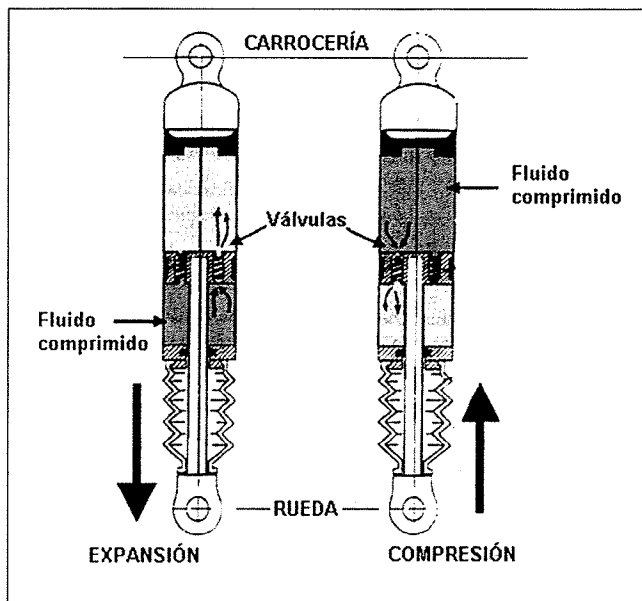


Figura 1: esquema de funcionamiento de un amortiguador monotubo

GAIKER -IK4
Parque Tecnológico, ed. 202. 48170 Zamudio
garaid@gaiker.es

Por último, son necesarios varios aditivos para proteger la durabilidad del fluido frente a la corrosión, el desgaste etc. pero también para poder compatibilizar los dos componentes anteriores tan diferentes entre si.

En el caso ya mencionado de la amortiguación de automóviles, el fluido sustituye al aceite empleado en los amortiguadores convencionales.

Un amortiguador es fundamentalmente un sistema de cilindro-émbolo con unas pequeñas aberturas en el pistón que permite el paso de un líquido de un lado a otro de la cámara del cilindro. Cuando el automóvil encuentra un obstáculo, el amortiguador absorbe esa energía disipándola en forma de pérdida de carga debida al movimiento del fluido dentro del cilindro. La capacidad de disipación de esta energía depende en gran medida de la viscosidad del fluido. Como este no varía, en los amortiguadores actuales es necesario el llegar a un compromiso entre una gran capacidad de absorción (suspensión dura y segura) y una absorción menor (suspensión mas blanda y confortable). Un avance con respecto a los sistemas de suspensión tradicionales fue la introducción en la electrónica del amortiguador. En este caso, la variación del tamaño del paso existente en el émbolo mediante sistemas electromecánicos permitía distintos grados de dureza de suspensión. Pero estos dispositivos tienen todavía limitaciones, tales como la existencia partes móviles en el sistema, con el consiguiente peligro de fallo. Por otro lado, tiene un número de posiciones fijas limitadas.

Ahí es donde entran en juego los fluidos magnetorreológicos para tratar de eliminar estas limitaciones. El siguiente paso en la evolución es el cambiar la viscosidad del fluido en vez del diámetro del paso por el que circulaba. Esto tiene una serie de ventajas como es la ausencia de partes móviles y sobre todo, el de disponer de un rango continuo de posibilidades de viscosidad dentro de un intervalo que le permite variaciones infinitesimales de forma instantánea. Esto se traduce en una respuesta en la amortiguación con la mínima variación en las condiciones de la carretera

A cambio, el fluido debe de estar en todo momento operativo y esto significa que tiene que mantenerse como una mezcla perfectamente homogénea, aun cuando el vehículo haya permanecido en reposo durante días. De otra forma, el vehículo tendría una amortiguación deficitaria hasta el momento en el que la propia vibración del automóvil resuspendiera las micropartículas. Pero, sobre todo, no debe haber una compactación de las partículas, ya que eso podría significar la completa inutilización del amortiguador.

Por tanto, es fundamental un buen comportamiento del fluido frente al reposo (sedimentación) y para ello es necesario la adición de diferentes compuestos aditivos tales como surfactantes, dispersantes, tixotropantes etc... que mejoren en la medida de lo posible la permanencia de la micropartícula dentro del seno del fluido.

Tratamiento del problema

Para resolver el problema de la sedimentación primero hay

que comprender porqué ocurre y tener en cuenta las fuerzas y los factores que intervienen en ello. Lógicamente las partículas que se encuentran en el seno del fluido van cayendo debido a la fuerza de la gravedad (Ec. 1). Por otro lado, existe una fuerza de rozamiento debida al movimiento de la partícula (sólido esférico) en el seno del líquido (Ec. 2) Por último, está la fuerza de Arquímedes (Ec. 3).

$$F = m \cdot g \quad (\text{Ec. 1})$$

$F_r = 6\pi R\eta v$ (Ec. 2), donde R: radio de la esfera, v: velocidad y η : viscosidad del fluido.

$$F_A = \frac{4}{3}\pi R^3 \rho_f g \quad (\text{Ec. 3})$$

La velocidad de caída o sedimentación de las partículas en función de estas fuerzas sería:

$$V_s = \frac{2}{9} \frac{r^2 g (\rho_p - \rho_f)}{\eta} \quad (\text{Ec. 4})$$

Donde:

V_s es la velocidad de caída de las partículas (velocidad límite)

g es la aceleración de la gravedad,

ρ_p es la densidad de las partículas y

ρ_f es la densidad del fluido.

Lógicamente para que no exista sedimentación o esta sea muy pequeña, tenemos que conseguir que esta velocidad se aproxime lo más posible a cero. Matemáticamente tenemos tres opciones: a) Radio de partícula infinitesimal b) Densidades similares en partícula y fluido portador y c) Viscosidad del fluido lo mas alta posible

Las tres soluciones que son lógicas e intuitivas desde el punto de vista matemático, en la práctica no son tan útiles. La primera no es viable puesto que dejaríamos de estar hablando de un FMR (para hablar de ferrofluidos que tienen otras propiedades), la segunda es aplicable de forma muy limitado, y la última no es posible emplearla sin perder, por otro lado, parte de su carácter magnetorreológico. Por tanto, es necesario emplear otra estrategia diferente. Quizás la solución mas común haya sido el empleo de tixotropantes (agentes aditivos que modifican las propiedades reológicas de la mezcla en función del esfuerzo de cizalla). Los tixotropantes solo actúan cuando el fluido está en reposo. En ese momento crean una red que "gelifica" al fluido haciéndolo mas viscoso. Cuando aparece algún esfuerzo de cizalla, el fluido vuelve a recuperar su viscosidad inicial.

A priori, parece ser la solución perfecta, sin embargo la realidad no suele ser tan sencilla. El tixotropante debe de ser perfectamente compatible con el líquido portador, no atacar a la partícula y actuar en los rangos de trabajo del FMR. Por otro lado, el tixotropante tampoco debe de ser perjudicado por ninguno del resto de componentes. Además debe de actuar de forma rápida ya que la velocidad de sedimentación dentro del fluido es relativamente alta

con respecto a otras dispersiones (pinturas etc...) En este sentido GAIKER-IK4 ha realizado grandes esfuerzos en la búsqueda de un sistema reológico que permita reducir al máximo la sedimentación de los FMR, a la vez que se mantienen las propiedades magnetorreológicas.

Compromiso entre propiedades

El primer paso fue desarrollar un método de ensayo que nos permitiera medir la estabilidad de los FMR y para ello, empleamos un espectrofotómetro de Vis-UV. El principio era muy sencillo. El FMR inicialmente tiene un color debido a la presencia de las partículas y al propio aceite. A medida que pasa el tiempo, las partículas van migrando desde la parte superior hacia la inferior, y al haber menos partículas, cada vez hay mayor transmisión de luz. De esta forma se obtuvieron gráficas de este tipo (Fig.2)

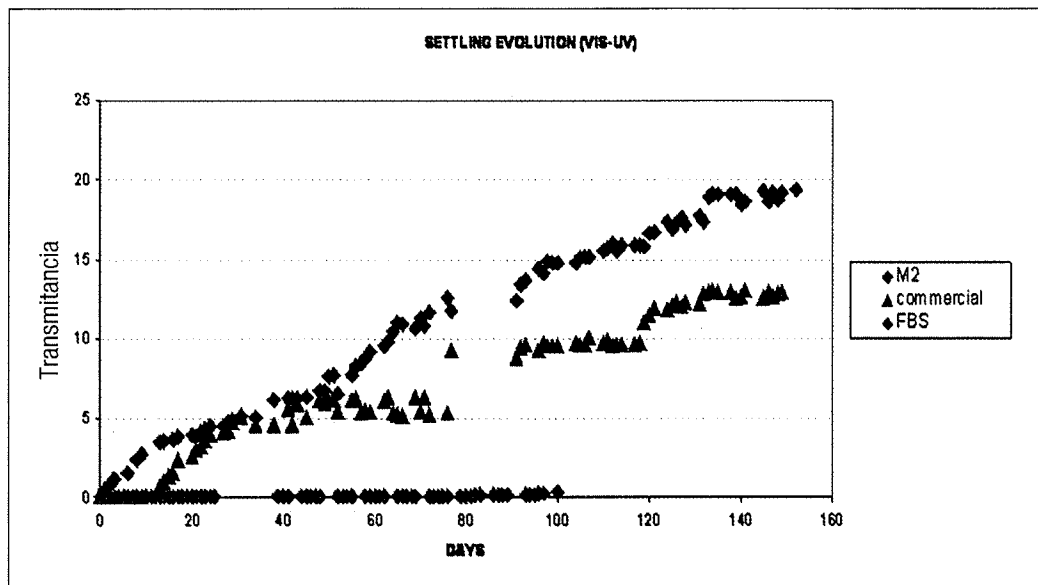


Figura 2: transmitancia de luz en función del tiempo

Aquí podemos observar la evolución de las medidas de sedimentación de fluidos comerciales (curva roja) frente a fluidos desarrollados por GAIKER-IK4 (curvas azul y verde). En los primeros fluidos desarrollados por GAIKER-IK4 (curva azul) la resistencia a la sedimentación no era tan buena, ya que su sistema tixotrópico (como muchos) tienden a aumentar la viscosidad inicial del FMR y su eficacia no era del todo óptima.

El gran avance de GAIKER-IK4 en este campo ha sido el poner a punto un sistema tixotrópico que funcione con gran rapidez y efectivamente en el FMR. En este tipo de formulaciones, los valores de sedimentación eran tan bajos que el equipo no lograba detectarlos (curva verde). A este tipo de fluidos los denominamos *Fluidos de Baja Sedimentación* o FBS.

Pero no solo es importante un buen comportamiento frente al reposo, la finalidad del FMR es variar sus propiedades reológicas (viscosidad) lo mas ampliamente posible. Para ello, GAIKER-IK4 dispone de un viscosímetro rotacional con

una bobina incorporada de manera que es posible aplicar un campo magnético en la muestra al mismo tiempo que se realizan los ensayos (fig. 3).

La muestra se coloca entre un plato inferior fijo y un plato superior móvil. Al girar el plato superior, el contacto con la muestra provoca un rozamiento que será mayor cuanto mayor sea la viscosidad de la muestra. Al mismo tiempo, podemos aplicar un campo magnético cuya intensidad podemos ir variando para ver como afecta a las propiedades de la muestra.

Si comparamos la intensidad de amperaje aplicado a la bobina (que es directamente proporcional al campo aplicado) frente a la viscosidad, obtenemos curvas como la Figura 4.

El FBS (curva azul) no solo tiene un excelente comportamiento frente a la sedimentación sino que además es muy sensible al campo magnético. De no aplicar campo a aplicar 5 A en la bobina, la viscosidad se multiplica por 250.

La podemos comparar con un fluido desarrollado para un dispositivo comercial (curva naranja). Pero no solo hay que observar el punto final de la gráfica. A menudo, es fundamental una viscosidad mínima del flui-

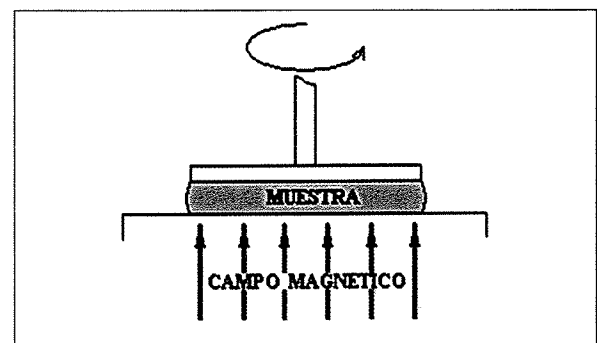


Figura 3: esquema de funcionamiento de un viscosímetro rotacional

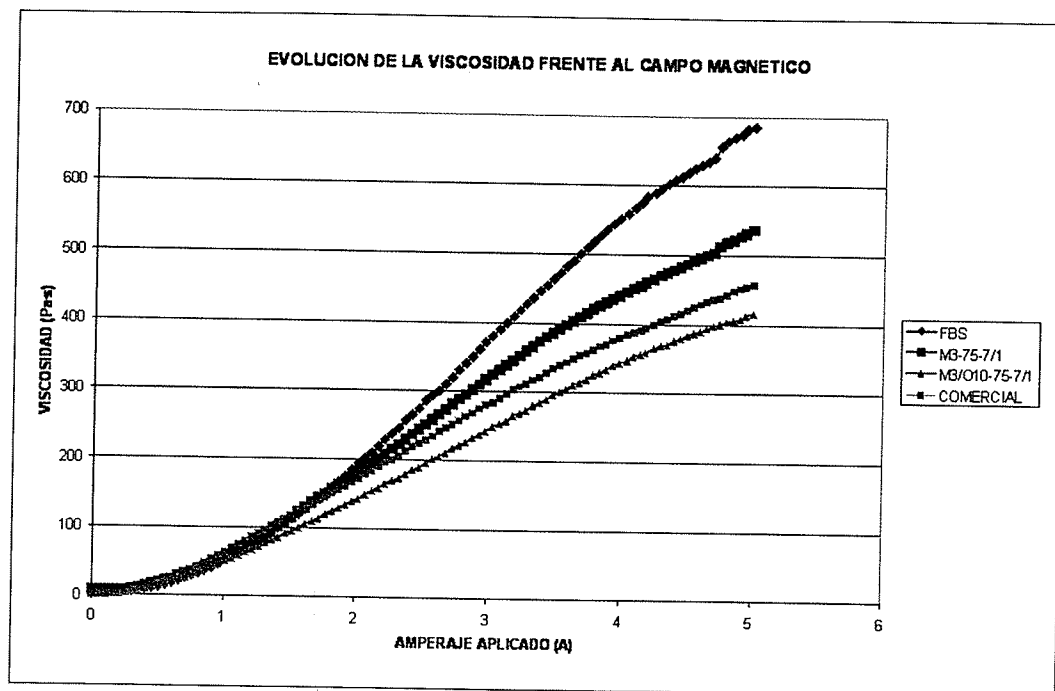


Figura 4: gráfica de la evolución de la viscosidad en función del amperaje aplicado

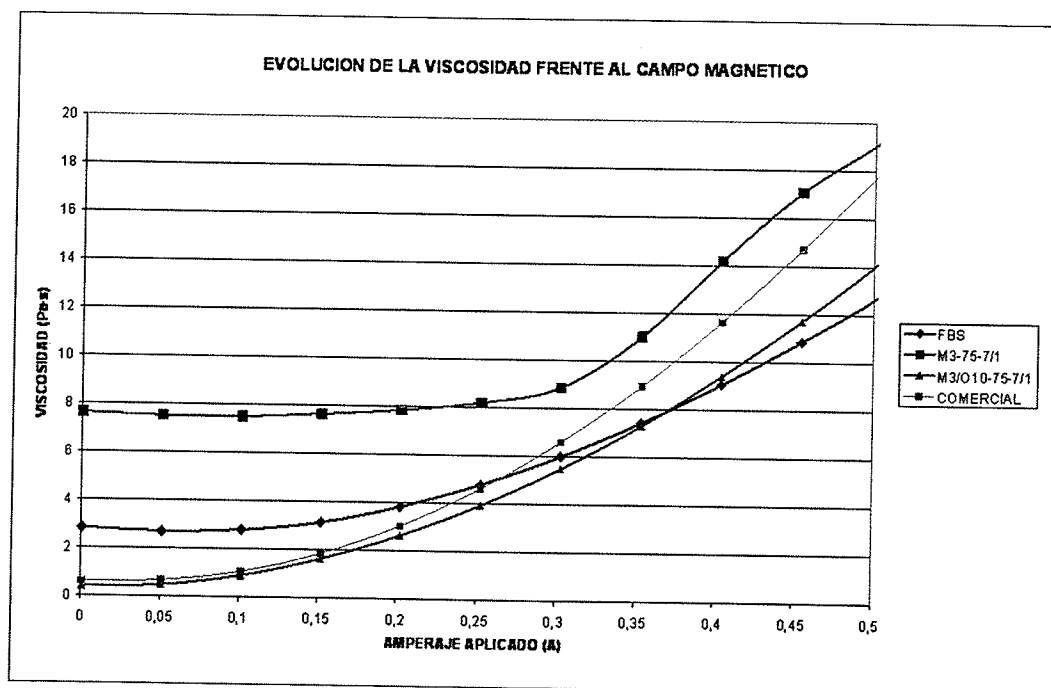


Figura 5: Detalle del arranque de la figura 5

do cuando no hay ningún campo magnético. Ya que de esta forma, las variaciones son porcentualmente mayores (que es lo interesante). Con diferencias tan grandes de viscosidad, un pequeño cambio en la viscosidad inicial es más influyente que un cambio relativamente grande en la viscosidad final.

La figura 5 es una ampliación de la parte inicial de la figura 4. En ella podemos observar las viscosidades iniciales y las primeras variaciones.

El conseguir minimizar la viscosidad inicial del FMR manteniendo las características del fluido y modelizar su comportamiento son, en opinión de GAIKER-IK4, dos de los puntos fundamentales en la investigación. En este sentido, podríamos decir que los fluidos desarrollados por GAIKER-

IK4 han conseguido eliminar el problema de la sedimentación manteniendo sus propiedades magnetorreológicas. Esto permite a estos fluidos ser empleados, con ligeras variaciones, en una gran variedad de aplicaciones tales como la suspensión activa en automóviles, la mitigación de vibraciones o en sistemas de freno entre otros.

Agradecimientos

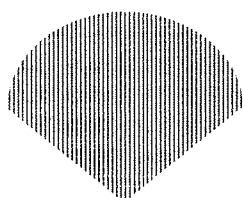
Esta investigación se ha realizado en el marco de las actividades de GAIKER-IK4 dentro del consorcio ACTIMAT gracias al apoyo económico del Gobierno Vasco a través de su programa de investigación estratégica ETORTEK.

Para más información:
www.GAIKER-IK4.es

1. J. David Carlson*, Mark R. Jolly MR Fuid, foam and elastomer devices. Mechatronics 10 (2000) 555±569
2. National Bureau of Standards Technical News Bulletin 1948;32(4):54±60.
3. Rabinow J. Proceedings of the AIEE Trans., 1948. 67. p. 1308±1315.
4. Winslow WM. J Appl Phys 1949;20:1137±40.
5. Carlson JD, Chrzan MJ. US Patent 5,277,282 1994.
6. Carlson JD, Chrzan MJ, James FO. US Patent 5,284,330 1994.
7. Carlson JD, Weiss KD. Machine Design 1994;8:61±6.
8. Carlson JD. Materials Technology 1998;13(3):96±9.
9. Dyke SJ, Spencer Jr BF, Sain MK, Carlson JD. Smart Materials and Structures 1996;5:565±75.

10. Dyke SJ, Spencer Jr BF, Sain MK, Carlson JD. Smart Materials and Structures 1998;7:693±703.
11. Ginder JM, Sproston JL. Actuator 96. In: Borgmann H, Lenz K, editors. Proceedings of the 5th International Conference on New Actuators. Bremen, Germany: Axon Technologie Consult GmbH, 1996.
12. Jolly MR, Carlson JD, Bender JW. SPIE 5th Annual International Symposium on Smart Structures and Materials, San Diego, CA, 15 March, 1998.
13. Kordonsky W. J Mag and Mag Mat 1993;122:395±8.
14. Shtarkman EM. US Patent 4,992,190 1991.
15. Spencer Jr BF, Dyke SJ, Sain MK, Carlson JD. J of Engineering Mechanics, ASCE 1997;123(3):230±8.
16. Weiss KD, Duclos TG, Carlson JD, Chrzan MJ, Margida AJ. Society of Automotive Eng., SAE Paper No. 932451 1993.

PRODUCCIÓN GRÁFICA MULTIMEDIA



P G M

Producción GRÁFICA
Multimedia

Rafael Alberti, 14
28400 Madrid
Tel./Fax 918 516 986
Movil: 659 79 2000
e-mail: program.@arrakis.es
www.pgm-2000.com



ARTES GRÁFICAS

DISEÑO GRÁFICO
MAQUETACIÓN
PRODUCCIÓN EDITORIAL

DESARROLLOS EN INTERNET

DISEÑO Web
PUBLICACIONES ON-line
BANNERS publicitarios
Cd's INTERACTIVOS

